



من أزمة طاقة إلى أزمة مواد خام..

بدائل النفط.. وهم الاستغناء الكامل!

فى كل مرة تشتعل فيها التوترات فى مضيق هرمز، تمتلئ الشاشات بصور ناقلات النفط، وخرائط سلاسل الإمداد، مع عبارات تحذيرية صارخة بأن أمن الطاقة فى خطر، بينما الحقيقة أن هذا الممر صار عسبا لمستقبل الصناعة لا لمضخات الوقود فقط. فهرمز الذى يمر عبره أكثر من ربع تجارة النفط البحرية فى العالم، إلى جانب جزء مهم من تجارة الغاز المسال والمواد البتروكيمياوية الخام، يغذى اليوم مصانع الألواح الشمسية وتوربينات الرياح والسيارات الكهربائية بقدر ما يغذى خزانات البنزين.

أشرف شهاب

من هنا يتغير السؤال: القضية لم تعد: "متى نتخلى عن النفط؟" بل: "فى أى صورة سنستمر فى استخدامه؟". فمركبات البلاستيك الصناعية (البولييمرات) التى تقوم عليها أغلب أنواع البلاستيك والألياف الصناعية والمواد العازلة، والمواد اللاصقة الصناعية (الراتجات) التى تعمل كغراء صلب يربط الألياف والمواد المركبة، كلها مشتقات من النفط والغاز وسوائل الغاز الطبيعى. ومع كل محطة شمسية أو مزرعة رياح جديدة، يتعمق هذا الاعتماد المادى على النفط، حتى وإن تراجع الاعتماد المباشر على حرق الوقود الأحفورى فى الاستهلاك اليومى للطاقة.

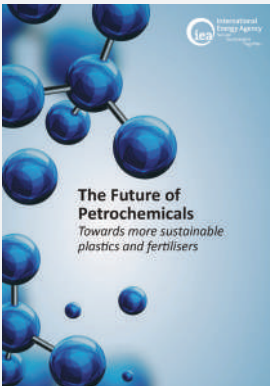
على مدار عقدين، تم الترويج للتحويل للطاقة النظيفة على أنها قطيعة حادة وجذرية مع النفط، وتركيز الدعاية على عالم يتجه نحو وسائل النقل الكهربائية، ويستبدل الوقود الأحفورى بالطاقة المتجددة والهيدروجين النظيف، لدرجة جعلت الكثيرين يتصورون أن برميل النفط سيغدو مجرد أثر تاريخى. لكن بيانات وكالة الطاقة الدولية IEA تقول شيئا آخر، فمع تباطؤ نمو الطلب على النفط فى قطاع النقل، تتقدم الصناعات البتروكيمياوية لتصبح المحرك الأكبر للطلب، مستهلكة ما يعادل برميلا من كل 6 براميل تقريبا بنسبة نمو تزيد على 33% حتى 2030، لأن الواقع يؤكد أن مشتقات النفط التى نتوقف عن حرقها فى المحركات يتم توجيهها إلى مصانع البلاستيك المتقدم، والألياف الصناعية، والمواد المركبة التى تشكل الأساس الذى يقوم عليه الاقتصاد الأخضر نفسه.



فخ المواد الخام..

التحول الأخضر تحت رحمة مشتقات البترول

حين ننظر إلى لوح شمسي فوق سطح مبنى، أو توربينة رياح تدور في عرض البحر أو في قلب الصحراء، أو سيارة كهربائية تنطلق في الشوارع، يبدو المشهد وكأنه انتقال نظيف من عصر الوقود الأحفوري (النفط الخام ومشتقاته، كالبنزين، السولار، المازوت، والغاز الطبيعي والفحم الحجري) إلى عصر الطاقة النظيفة. لكن ما إن تقترب من جوهر مكونات هذه التقنيات حتى نكتشف مفارقة حادة: فمعظم ما نراه أمامنا، من طبقات العزل إلى المواد البلاستيكية المركبة والهياكل خفيفة الوزن، قائم على مواد مشتقة من النفط.



والطائرات والشاحنات. ومن المتوقع أن يساهم بأكثر من 33% نمو الطلب العالمي على النفط بحلول 2030، ونحو 50% من نمو الطلب بحلول 2050 في بعض السيناريوهات. وأن هذا النمو يركز أساساً على البلاستيك المتقدم، والألياف الاصطناعية، والمواد اللاصقة الصناعية التي تشكل البنية المادية الأساسية للتقنيات المصنفة كتقنيات خضراء.

وتتوقع الوكالة الدولية للطاقة (IEA) في تقريرها المرجعي: "مستقبل البتروكيماويات: نحو بلاستيك وأسمدة أكثر استدامة"

The Future of Petrochemicals: Towards more sustainable plastics and fertilisers الذي صدر في 2018، أن قطاع البتروكيماويات سيصبح أكبر محرك لنمو الطلب على النفط في العقود المقبلة، متقدماً على السيارات

توربينات الرياح..

أجنحة خفيفة مبنية على المواد البترولية

فى طاقة الرياح، تبدو المفارقة أشد وضوحاً، فالريش الخاصة بالتوربينات، التى يصل طول الواحدة منها فى بعض مشروعات الرياح البحرية إلى ما يتجاوز 100 متر، ليست قطعاً معدنية صلبة كما قد يتخيل البعض، بل هى مصنوعة من مواد مركبة من ألياف زجاجية أو كربونية مدمجة بمواد غراء صلبة كالإيبوكسي، والبوليستر، وغيرها. وهذه المواد المركبة مشتقة من كيماويات أساسها النفط والغاز، وهى التى تمنح الشفرات صلابة عالية مع الحفاظ على وزن منخفض، وهو شرط حاسم لتقليل الإجهاد على العمود والمحور ولضمان كفاءة الدوران.

تشير دراسات التصميم فى قطاع طاقة الرياح إلى أن استخدام ألياف الكربون فى تركيب الشفرات يمكن أن يخفض كتلة الشفرة الواحدة بنسبة تصل إلى 25% فى توربينات بقوة 10 ميجاواط، ما ينعكس على انخفاض فى التكاليف الكلية للنظام، وأن إنتاج هذه الألياف والمكونات المرتبطة بها يعتمد بشكل مباشر على سلاسل بتروكيماوية معقدة. بهذا المعنى، كل خطوة لتحسين كفاءة التوربين عبر تخفيف الوزن تمنى، فى الواقع، تعميق الاعتماد على المشتقات البترولية.

الألواح الشمسية..

ما حول السيليكون

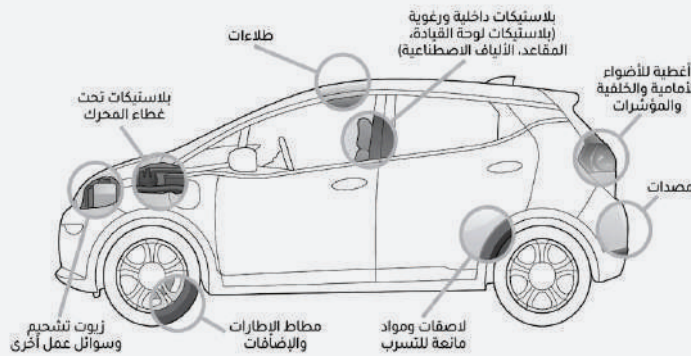
فى الخطاب العام، تبدو الخلية الشمسية كقطعة من السيليكون النقى تحصد الضوء وتحوله إلى كهرباء نظيفة. لكن القيمة التشغيلية للوحدة لا تتحدد بالسيليكون وحده، بل بطبقات مركبات البلاستيك الصناعية التى تحيط به وتحميه، فالسيليكون نفسه مستخرج من الرمال، لكن طبقات البلاستيك المحيطة به مشتقة من النفط. وتشير تحليلات مكونات الألواح إلى أن الزجاج يشكل نحو 70 إلى 76% من وزن اللوح، بينما المركبات البلاستيكية الصناعية مثل EVA و PVF و PET، التى تشكل طبقات التغليف الخلفية والوسطى التى تحمى الخلايا الشمسية وتزولها عن العوامل الجوية نحو 10 إلى 11% من الوزن، لكنها تضطلع بدور حاسم فى حماية الخلايا الشمسية من الرطوبة والصدمات والعوامل الجوية، وتعمل على إطالة العمر الافتراضى للنظام إلى 25 إلى 30 سنة.

فمركب الإيثيلين-فينيل أسيتات (EVA) المشتق من سلاسل الإيثيلين الغازية المرتبطة بصناعة البتروكيماويات، المستخدم بكثافة كطبقة تغليف شفافة تربط الخلايا الزجاجية بباقي مكونات الألواح الشمسية لحمايتها من التكسير والشرخ وتسرب الماء، وكذلك الأغلفة البلاستيكية التى تغطى ظهر اللوح وتحميه من الخلف، كلها تتم صناعتها من بوليمرات مثل PVF أو من البولى إيثيلين تيرفتالات (PET)، وكلاهما من عائلة مشتقات النفط والغاز. ورغم أن هذه المواد لا تشكل الجزء الأكبر من وزن اللوح، فإن اختلال سلاسل توريدها يمكن أن يتسبب فى التجميد الكامل لخطوط إنتاج الألواح الشمسية، لأن البدائل التجارية المتاحة حتى الآن ما زالت محدودة فى الحجم وأعلى فى التكلفة.

السيارة الكهربائية..

اعتماد متزايد على المشتقات النفطية

تعتمد أجزاء كبيرة من السيارات الكهربائية على مواد مركبة من مشتقات النفط



الذى يحكم تصميم المركبات الكهربائية، يعنى فى النهاية أن صناعة السيارات الكهربائية لا يمكن أن تستغنى تماماً عن مشتقات النفط، بل تعيد تدوير هذه المكونات فى السيارة، من خزان الوقود إلى المقاعد، وصولاً إلى لوحة العدادات وطبقات العزل.

من مكافئ ثانى أكسيد الكربون، أى أعلى من كثير من المعادن التقليدية، لكن استخدامها فى السيارات يقلل وزنها الإجمالى ويحسن كفاءتها لدرجة أن الوفورات فى استهلاك الطاقة خلال عمر السيارة تعوض الانبعاثات الناتجة عن إنتاج المواد نفسها. هذا المنطق،

فى قطاع النقل، غالباً ما تستند الدعاية للمركبات الكهربائية إلى تصويرها وكأنها استغناء نهائى عن النفط. هذه الدعاية صحيحة جزئياً، فهذه السيارات لا تحرق البنزين أو السولار فى محرك احتراق داخلى، لكن الحقيقة أن هيكلها ومكوناتها الداخلية تعتمد، بدرجة أكبر من السيارات التقليدية، على المواد المركبة المشتقة من النفط. وقد أشار تحليل لمستقبل التنقل (mobility) نشرته شركة ماكينزى فى سبتمبر 2020 إلى أن التحول إلى المركبات الكهربائية يزيد الطلب على المواد خفيفة الوزن، إذ يجب تعويض الوزن الكبير لحزمة البطارية من خلال تخفيف وزن الهيكل وأجزاء المقصورة، وذلك عبر إحلال البلاستيك المتقدم والمواد المركبة محل الصلب فى عدد متزايد من الأجزاء.

كما تشير نفس الدراسة إلى أن البصمة الكربونية لإنتاج طن واحد من مركبات البلاستيك الصناعية التى تشكل معظم أجزاء السيارة قد تبلغ ما بين 2.5 إلى 4.5 طن

محدودية البدائل

مع أسعار النفط المنخفضة نسبياً، لكن هذه الفجوة يمكن أن تتقلص مع ارتفاع أسعار النفط أو دعم السياسات. كما أن خصائصها الفيزيائية كالتحمل، ومقاومة الحرارة، والعمر الافتراضي، لا تسمح لها دائماً بالقيام بنفس الدور في العديد من التطبيقات الحساسة مثل تغليف الخلايا الشمسية أو ريش التوربينات أو مكونات السيارات. لذلك، تظل هذه البدائل في موقع "التكميل" لا "الإحلال"، وتبقى الصناعات الخضراء رهينة للبنية التحتية البتروكيماوية التي توفر المواد الأولية الأساسية.

ورغم هذا التوسع، تظل حصة البلاستيك الحيوي محدودة قياساً بسوق البلاستيك العالمي، الذي دارت قيمته الإجمالية في 2022 حول 550 إلى 600 مليار دولار، ما يعني أن البلاستيك التقليدي ما زال يسيطر على ما يقرب من 570 مليار دولار من السوق السنوي، مع توقع أن يتجاوز السوق برمته حاجز التريليون دولار بعد 2030. السبب ليس تقنياً فقط، بل اقتصادي كذلك، فتكلفة إنتاج هذه المواد الحيوية لا تزال أعلى تكلفة من نظيراتها البترولية، خاصة

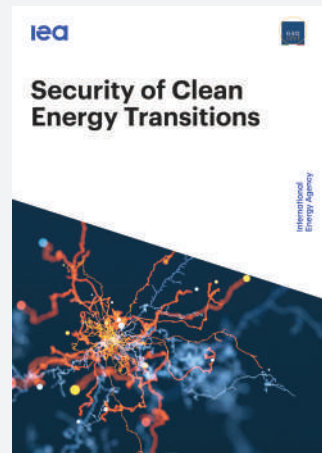
غالباً ما يشار إلى "البلاستيك الحيوي" والمواد المستخرجة من مصادر حيوية متعددة مثل الذرة وقصب السكر بوصفها بديلاً واعداً للبلاستيك البترولي، لكن ضخامة حجم السوق تجعل إسهامات هذه البدائل متواضعة مقارنة بحجم الطلب الكلي. وتشير دراسة سوقية صادرة عن شركة Precedence Research في يناير 2023 إلى أن قيمة سوق البلاستيك الحيوي بلغت نحو 13.11 مليار دولار في عام 2022، مع توقع ارتفاعها إلى نحو 46.1 مليار دولار بحلول عام 2030.



أمن المواد الأولية.. الوجه الجديد لأمن الطاقة

يلفت تقرير وكالة الطاقة الدولية الصادر بعنوان: "أمن التحولات النظيفـة" Security of Clean Energy Transitions الذي تمت مناقشته في اجتماع وزراء طاقة مجموعة العشرين في بالي بإندونيسيا في سبتمبر 2022 النظر إلى أن عناصر أمن الطاقة تتغير مع توسع الاعتماد على الكهرباء المتجددة، والمعادن الاستراتيجية، والرقمنة في إدارة الشبكات. في هذا السياق، تتحول المواد البتروكيماوية نفسها إلى جزء من معادلة الأمن، فاضطراب إنتاج أو نقل المدخلات البتروكيماوية الأساسية المشتقة من النفط مثل الإيثيلين والبروبيلين، والمواد الخام، أو تعرض سلاسل توريد مركبات البلاستيك الصناعية المتقدمة للصدمات، يمكن أن يوقف مشروعات الطاقة المتجددة أو يرفع تكاليفها بشكل حاد، حتى لو كانت مصادر الكهرباء نفسها كالشمس والرياح مجانية ومتاحة. هذا البعد الجديد من الأمن لا يقتصر على المشتقات البترولية وحدها، فالمعادن النادرة مثل الليثيوم والكوبالت والنيكل والنحاس دخلت في قلب النقاش حول أمن التحول الطاقوي. لكن تميز النفط والغاز يكمن في أنهما، بخلاف كثير من هذه المعادن، يمتلكان شبكة قائمة من البنية التحتية والتكرير والتوزيع، تتيح تحويلهما إلى مئات الأنواع من المواد الكيميائية ومركبات البلاستيك الصناعية المطلوبة في الصناعات الخضراء. لذلك، فإن أي اضطراب سيترك أثراً سلبياً متشعباً على سلاسل القيمة، من منجم الليثيوم إلى مصنع الألواح الشمسية. بهذا المعنى، يتحول سؤال "أمن الطاقة" في زمن الانتقال الأخضر من: "هل نملك ما يكفي من الوقود لتشغيل الاقتصاد؟" إلى: "هل نملك، وبأى شروط، ما يكفي من المواد الأولية البترولية والمعدنية لبناء البنية التحتية اللازمة لاقتصاد منخفض الكربون؟".

كل هذه التفاصيل التقنية تقودنا إلى مفهوم جديد بدأ يفرض نفسه في تقارير السياسات الدولية ألا وهو: "أمن المواد الأولية" أو Material Security فمع تقدم الانتقال الطاقوي، لم يعد أمن الطاقة مختزلاً في تأمين الكميات الكافية من النفط والغاز والفحم اللازم لتشغيل محطات الكهرباء والمصانع، بل بات يشمل أيضاً ضمان التدفق المستقر والمستدام لمجموعة واسعة من المدخلات المادية، من المعادن الحرجة إلى مركبات البلاستيك الصناعية المتخصصة.



جيوسياسة المواد الخام..

النفط كبنية تحتية للصناعة العالمية

تقليدياً كانت الأسئلة حول النفط بسيطة، من يملك الحقول، ومن يتحكم في الناقلات وخطوط الأنابيب التي تنقل الوقود إلى محطات الكهرباء ومحطات البنزين؟ اليوم تغير السؤال وأصبح أكثر تعقيداً: من يملك القدرة على تحويل هذا النفط والغاز إلى مواد خام كيميائية لتغذية مصانع البلاستيك المتقدم ومركبات البلاستيك الصناعية والألياف الصناعية التي تقوم عليها الصناعات الخضراء نفسها.

هرمز..

من ممر للوقود إلى شريان للمواد

الحساسية لأي إغلاق جزئي أو كامل للمضيق. وبالنظر إلى أن نحو 84 % من شحنات النفط الخام والسوائل النفطية الخفيفة التي تمر عبر هرمز تذهب إلى الأسواق الآسيوية، وأن الصين وحدها تعتمد على هذا الممر لتأمين قرابة 33 % من وارداتها النفطية، يتأكد أن أمن مشتقات البترول من المواد الخام يمثل مشكلة تضغط على قلب سلاسل الصناعة العالمية.

اضطراب في إمدادات النفط لا يرفع أسعار الوقود فحسب، بل يهدد مباشرة تشغيل مصانع البتروكيماويات التي تنتج الإيثيلين والبروبيلين والمواد المستخدمة في الألواح الشمسية وتوربينات الرياح والسيارات الكهربائية. وتشير تقديرات تحليلات الطاقة إلى أن أكثر من 37 % من واردات النافثا البحرية لمعامل التكسير في شرق آسيا تمر عبر هرمز، ما يجعل هذه المصانع شديدة

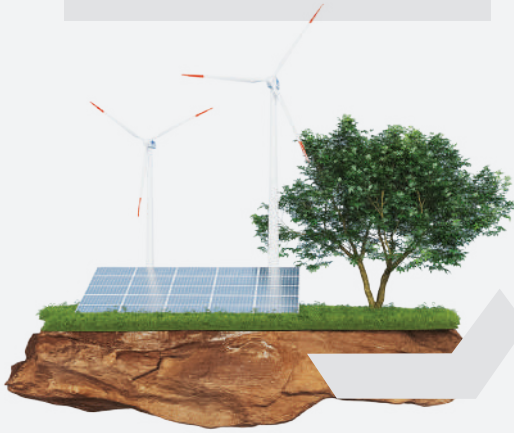
لم تعد الأهمية الاستراتيجية لمضيق هرمز تقتصر على كونه معبراً لنحو 15 إلى 20 % من إمدادات النفط العالمية المنقولة بحراً. ما يضيف تعقيداً جديداً هو أن الممر ذاته ينقل أيضاً نحو 1.5 مليون برميل يوميا من غاز البترول المسال (LPG)، ونحو 1.2 مليون برميل يوميا من النافثا، وهي من أهم المواد الخام البتروكيماوية لمصانع البتروكيماويات حول العالم. وهذا يعني أن أي



النافثا..

المادة الخام الذهبية
لمصافي التكرير

النافثا (Naphtha) هي المادة الخام الذهبية التي تربط بين عالم النفط وعالم المواد الملموسة. تقنيا، هي المنتج السائل الأخف الذي يخرج من محطات التكرير مباشرة بعد الغازات وقبل الكيروسين والسيولار (الديزل). وعلى عكس المشتقات الأخرى، فإن النافثا مادة وسيطة شديدة الحساسية، فبينما يذهب الديزل والكيروسين للحرق في المحركات، تذهب النافثا لتكون لبنة البناء الأساسية لكل ما يحيط بنا من مواد صلبة. يتصارع على النافثا قطاعان حيويان هما قطاع النقل الذي يسعى لمعالجتها وتحويلها إلى بنزين للسيارات، وقطاع الصناعة الذي يستخدمها كمدخل أساسي لصناعة البلاستيك، والألياف، والأدوية. إنها باختصار: "الشفيرة الوراثة" لكل ما نلمسه. وبدونها لا يصاب قطاع النقل فحسب بالشلل، بل يصاب العمود الفقري للصناعة العالمية بالشلل، وتفقد الحضارة قدرتها على إنتاج أبسط أدوات الحياة اليومية.



الصين..

قلب المصنع الأخضر العالمي

لم تعد الصين فقط أكبر مستورد للنفط والغاز، بل تحولت إلى أهم "محول" لهما إلى منتجات وخامات تدخل في صميم التحول الأخضر. في صناعة الطاقة الشمسية وحدها، استثمرت الشركات الصينية أكثر من 130 مليار دولار في 2023، مارسخ سيطرتها على سلسلة القيمة بالكامل.

وتشير تحليلات شركة "وود ماكنزي" إلى أن الشركات الصينية استثمرت أكثر من 130 مليار دولار في سلسلة توريد الطاقة الشمسية خلال عام 2023، مما رسخ سيطرتها على سلسلة القيمة بالكامل، إذ استحوذت على أكثر من 80% من القدرة العالمية على تصنيع البولي سيليكون والشرائح (wafers) والخلايا والوحدات الشمسية في الفترة بين 2023 و2026، وفق التقرير الصادر في 6 نوفمبر 2023 بعنوان "How will China's expansion affect global solar module supply chains?". وتشير بعض التقارير إلى أن قدرات التصنيع الصينية في هذه السلسلة تخطت 1 تيرا وات (1000 جيجا وات) سنويا عام 2024، وهي طاقة تكفي لتغطية احتياجات السوق العالمي من الألواح الشمسية حتى عام 2032، حتى في حال عدم إضافة طاقات إنتاجية كبيرة خارج الصين.

وقد دعم التقرير الخاص بوكالة الطاقة الدولية الصادر عام 2022 تحت عنوان: Special Report on Solar PV Global

Supply Chains هذا التصور الذي يؤكد أن حصة الصين في معظم مراحل تصنيع مكونات الألواح الشمسية، من البولي سيليكون حتى الوحدات الجاهزة، تتجاوز 80%، وأن العالم يعتمد تقريبا بالكامل على الصين في توفير هذه اللبنة الأساسية لسلسلة الإمداد.

هذا التفوق الصيني لا يعتمد على المعادن وحدها، بل على شبكة مكتملة من الصناعات البتروكيمياوية وصناعة مركبات البلاستيك الصناعية داخل الصين أو قريبة منها، فالمواد المستخدمة في تغليف الخلايا الشمسية يتم إنتاجها بكثافة في مجمعات بتروكيمياوية آسيوية. وبذلك، يصبح أمن التصنيع الشمسي في الصين مرتبطا بأمن تدفق النافثا وغاز البترول المسال من الخليج، بقدر ارتباطه بإمدادات السيليكون أو المعادن.

الصورة مشابهة في صناعة البطاريات، فالصين تستحوذ على الحصة الأكبر من سلاسل التوريد، من خلال سيطرتها على نحو 70 إلى 90% من القدرة العالمية لإنتاج مواد الكاثود، ونحو 85 إلى 95% من القدرة على إنتاج مواد الأنود. وفيما يخص خلايا بطاريات الليثيوم-أيون، تقدر الوكالة الدولية للطاقة أن الصين تملك نحو 77% من القدرة العالمية على تصنيع خلايا بطاريات السيارات الكهربائية، وأن أكثر من 75% من البطاريات المنتجة عالميا في 2024 خرجت من الصين.

أوروبا..

استيراد المواد بدل الوقود

أوروبا، التي جعلت من "التحول الأخضر" هدفا استراتيجيا لعقودها المقبلة، تحاول منذ حرب أوكرانيا تقليل اعتمادها على النفط والغاز الروسيين وغيرهما كمصدر للطاقة. لكنها في الوقت نفسه لا تزال تعتمد بقوة على واردات المواد الخام والوسيطة للصناعات التحويلية الخضراء. لهذا السبب أقر الاتحاد الأوروبي: "قانون المواد الخام الحرجة" (European Critical Raw Materials Act) الذي وضع أهدافا واضحة لعام 2030، وتمثل في أن تغطي القدرات المحلية 10%

من احتياجات الاتحاد من الاستخراج، و40% من المعالجة، و25% من إعادة التدوير، مع ألا يأتي أكثر من 65% من احتياجات أي مادة استراتيجية من دولة ثالثة واحدة. ورغم أن هذا التشريع يركز بالأساس على المعادن كالليثيوم والكوبالت والنيكل، فإنه يعبر عن منطق يمكن تطبيقه أيضا على المواد الخام البتروكيمياوية، فالصناعات الكيماوية وصناعات مركبات البلاستيك الصناعية في أوروبا تعتمد على مواد خام قادمة من الشرق الأوسط والولايات المتحدة

وروسيا، سواء عبر واردات مباشرة أو عبر سلاسل قيمة عالمية. ومع تحويل جزء متزايد من هذه المواد الخام إلى منتجات ومكونات تستخدم في تجهيزات الطاقة المتجددة، يصبح أمن "المادة" جزءا من أمن "التحول الأخضر" نفسه. وأى اضطراب في تدفق المواد الكيماوية الوسيطة يمكن أن يعرقل برامج تركيب الألواح ويعيق التوسع في أساطيل السيارات الكهربائية، حتى وإن كانت شبكات الكهرباء الأوروبية تستقبل حصة متزايدة من الطاقة المتجددة.

الولايات المتحدة..

من استيراد الوقود إلى تصدير المواد الخام

مجرد ضمان الإمدادات النفطية لحلفائها إلى ضمان تدفق المواد الخام التي تحتاجها مصانعهم لإنتاج الألواح الشمسية، والبنى التحتية الكهربائية، ومكونات السيارات. وتمنح السيطرة على إنتاج هذه المواد وعلى تقنيات تحويلها واشتراط أداة نفوذ ناعمة في مسار التحول الأخضر العالمي، مشابهة لتلك التي تمتلكها في مجالات أشباه الموصلات أو التكنولوجيا الرقمية، ولكن في طبقة أكثر خفاء، طبقة المادة نفسها.

يومية من الخام والمنتجات إلى أكثر من 170 دولة. لكن الأهمية الجيوسياسية لا تكمن فقط في حجم الصادرات، بل في تركيبها، فالولايات المتحدة تقوم بتصدير كميات كبيرة من سوائل الغاز الطبيعي (NGLs) والمواد الخام البتروكيمياوية ومركبات البلاستيك الصناعية، ما يجعلها لاعباً رئيسياً في تزويد آسيا وأوروبا بالمواد الأساسية للصناعات الكيميائية والبلاستيكية. بهذا المعنى، تتحول قوة الولايات المتحدة من

تتقاسم الولايات المتحدة مع الصين أدواراً مختلفة في السلسلة نفسها، فالصين تتفوق في التصنيع والتحويل، بينما تتفوق الولايات المتحدة في تصدير الوقود والمواد الأولية والبتروكيمياويات. ويرجع الفضل في ذلك إلى ثورة النفط والغاز الصخري التي غيرت موقع الولايات المتحدة في خريطة الطاقة العالمية، إذ أصبحت في عام 2023 مصدراً صافياً للنفط ومشتقاته بنحو 1.64 مليون برميل يوميا، مع صادرات إجمالية تقارب 10.15 مليون برميل



خريطة المخاطر والقوة

هذه الحلقات الثلاث تعنى أن أي صدمة في أحد المفاصل -كالإغلاق الجزئي أو الكلي لمضيق، أو عقوبات على دولة منتجة، أو حرب تجارية على المواد الكيميائية- يمكن ترجمتها إلى تأخر في مشروعات الطاقة المتجددة أو ارتفاع في تكاليفها في مكان آخر من العالم. في الوقت نفسه، تمنح هذه السلسلة أدوات نفوذ جديدة لدول الممرات الحرجة (مثل إيران وسلطنة عمان والإمارات عبر هرمز)، لأن هذه الدول تملك السيطرة على "المفتاح" الذي يمكن أن يبطئ أو يسرع تدفق المشتقات البترولية، أما الدول الصناعية الكبرى كالصين والولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي فتمتلك القوة الصناعية اللازمة لتحويل النفط والغاز إلى مواد ومنتجات عالية القيمة، ويمكن أن تستخدم هذا النفوذ في التفاوض على شروط التجارة أو نقل التكنولوجيا.

ما يتشكل أمامنا إذن هو جيوسياسية جديدة لا تدور فقط حول "البرميل" كوقود، بل حول الجزيئات الكيميائية المكونة لمشتقات النفط والغاز، التي تنتقل بين القارات كمواد أولية في صورة سوائل غازية وبضائع كيميائية ومركبات بلاستيكية صناعية، قبل أن تنتهي في لوح شمسي على سطح منزل، أو شفرة توربينة في بحر الشمال، أو هيكل سيارة كهربائية في شوارع شنغهاي أو برلين أو كاليفورنيا.

إذا نظرنا إلى سلسلة القيمة الممتدة من بئر النفط إلى الألواح الشمسية أو السيارة الكهربائية، يمكن تبسيطها في 3 حلقات كبرى:

1. إنتاج النفط والغاز وسوائل الغاز.
2. تحويله إلى مواد خام ومنتجات بتروكيمياوية، ثم إلى مركبات بلاستيكية صناعية ومواد متقدمة.
3. دمج هذه المواد في منتجات خضراء نهائية كألواح الطاقة الشمسية، وتوربينات الرياح، والسيارات الكهربائية، وشبكات البنية التحتية المرتبطة بها.

في هذه السلسلة تتحكم دول الخليج وإيران والعراق في الحلقة الأولى عبر الإنتاج والتصدير، لكن تأثيرها الجيوسياسي يعتمد على مدى قدرتها على التحكم في ممرات الشحن الحيوية، وفي مقدمتها مضيق هرمز. الصين تهيمن على جزء كبير من الحلقة الثالثة، من خلال سيطرة تتجاوز 80% من القدرة العالمية على تصنيع مكونات الألواح الشمسية، وتحصيلها حصة كبيرة من إنتاج البطاريات والتجهيزات الكهربائية. أما أوروبا والولايات المتحدة واليابان وكوريا الجنوبية، فتتنازع مواقع مختلفة على امتداد السلسلة، تمتلك أوروبا قاعدة صناعية كيميائية متقدمة لكنها تعتمد على مواد خام مستوردة، بينما تجمع الولايات المتحدة بين وفرة المواد الخام وقوة التحويل إلى منتجات عالية القيمة، مع تركيز متزايد على التصدير.



الطاقة المتجددة.. الابنة المدللة لأسعار النفط المنخفضة

خلال العقد الماضي، تم بناء جزء كبير من السردية المتفائلة حول الطاقة المتجددة استناداً إلى أرقام ملفتة: الكيلوواط/ساعة من الشمس والرياح أصبح أرخص من الفحم والغاز في كثير من الأسواق. وتشير تقارير الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA) إلى أن متوسط تكلفة الكهرباء المولدة من مشروعات الشمس انخفض بنحو 90% بين عامي 2010 و2023، ليصل في 2023 إلى نحو 4.4 سنتات دولار لكل كيلوواط/ساعة عالمياً. وفي الرياح البحرية، تراجعت التكلفة للكهرباء من نحو 20 سنتاً لكل كيلوواط في 2010 إلى ما بين 7 و 7.5 سنتات في 2023، مع انخفاض إجمالي التكاليف الاستثمارية للمشروعات الجديدة بما يقارب 48% خلال الفترة نفسها. هذه الأرقام يتم تقديمها بوصفها دليلاً على أن التكنولوجيا وحدها هي التي صنعت ثورة انخفاض الأسعار.

توثق انخفاض تكاليف الطاقة الشمسية الكهروضوئية بين 2010 و2023 يتبين أن مكونات النظام، ومن ضمنها الهياكل، والكابلات، والعوازل، والمواد البلاستيكية لعبت دوراً أكبر في خفض التكاليف مع مرور الوقت.

مباشر أو غير مباشر، بدورة نفط وغاز مستقرة نسبياً. واستناداً إلى سلسلة تقارير الوكالة الدولية للطاقة المتجددة IRENA حول تكاليف توليد الكهرباء من الطاقة المتجددة، خاصة تقرير Renewable Power Generation Costs in 2022، التي

لكن تفكيك مكونات التكلفة يكشف صورة أكثر تعقيداً. فجزء كبير من هذا الانخفاض اعتمد على بيئة عالمية من المواد الرخيصة نسبياً: زجاج، فولاذ، نحاس، وقبل ذلك وبعده مركبات البلاستيك الصناعية والمواد البتروكيمياوية التي ارتبطت أسعارها، بشكل

صدمة المواد

هذه المركبات البلاستيك الصناعية ليست تفاصيل على هامش الاقتصاد الأخضر، فهي تدخل في تصنيع أغلفة الكابلات الكهربائية عالية الجهد، والأنابيب المستخدمة في شبكات الهيدروجين، والطبقات العازلة في الألواح الشمسية، والأجزاء البلاستيكية في محطات الشحن والبنى التحتية الكهربائية. في الوقت نفسه، شهدت المواد المتخصصة المستخدمة في شفرات توربينات الرياح وخاصة الإيبوكسي عالى الأداء ضغطاً تصاعدياً في الأسعار مع زيادة الطلب العالمي. وتشير تقديرات سوقية أن حجم سوق المواد التي تصنع منها شفرات التوربينات وصل إلى ما بين 1.8 إلى 2.3 مليار دولار في 2025 مع توقعات بنمو سنوي مركب يتراوح بين 7.5 و9.5% حتى عام 2030، ما يعكس مزيجاً من الطلب المتنامي وتكاليف المواد والتطوير التقني. وحتى في ظل منافسة مواد لاصقة صناعية بديلة كالفينيل إستر، والبوليستر، لا يزال الإيبوكسي يحتفظ بموقعه في التوربينات الكبيرة بسبب خصائصه الميكانيكية، ما يحد من قدرة المصنعين على استبداله بشكل سريع.

عندما ترتفع أسعار هذه المواد بهذه النسب، ينعكس ذلك مباشرة على التكاليف الرأسمالية لمشروعات الطاقة المتجددة، حتى لو استمرت أسعار الوحدات الشمسية أو التوربينات في الانخفاض بسبب التقدم التقني. وبالفعل، رصدت تقارير دولية موجة من "تضخم التكاليف" عامي 2022 و 2023 في مشروعات الرياح البحرية والشمسية، مما دفع بعض المطورين في أوروبا والولايات المتحدة إلى إعادة التفاوض على عقود الشراء أو تأجيل الاستثمارات، بحجة أن أسعار العقود القديمة لم تعد تغطي التكاليف بعد ارتفاع أسعار الفولاذ والنحاس والمواد الكيميائية ومركبات البلاستيك الصناعية.

(العاصفة القطبية في تكساس) وأزمات الشحن البحري. وبعد اندلاع الحرب على إيران في مطلع 2026 وإغلاق مضيق هرمز جزئياً، قفزت أسعار البولي بروبيلين في آسيا إلى نحو 1180 دولاراً للطن (زيادة تفوق 300 دولار خلال أقل من أسبوعين)، بينما سجلت بعض درجات البولي إيثيلين في الصين ارتفاعات شهرية تجاوزت 25%، ووصلت أسعار البولي بروبيلين في أسواق شمال إفريقيا إلى قرابة 1300 دولار للطن، بحسب بيانات Platts وتقارير متخصصة في أسواق مركبات البلاستيك الصناعية.

الأحداث التي شهدتها أسواق المواد في 2021 و2022، ثم الصدمات الجديدة المرتبطة بالحرب الأمريكية الإسرائيلية على إيران وما رافقها من تصعيد في مضيق هرمز، أظهرت كيف يمكن أن تقلب هذه المعادلة. يؤكد تحليل لشركة ماكينزي حول تطور أسعار البولي إيثيلين والبولي بروبيلين في الولايات المتحدة أن متوسط الأسعار بين 2019 و2021 قفز بنسبة تتراوح بين 80 و120%، مع ارتفاع سعر طن البولي إيثيلين من نحو 1200 دولار إلى 2200 دولار خلال أقل من 6 أشهر في 2021، نتيجة مزيج من اضطرابات الإنتاج



من وقود للتشغيل

إلى مادة الاستثمار

اقتصاديا، ما يحدث هو انتقال لموضع المخاطر من خانة التشغيل إلى خانة الاستثمار. في أنظمة الطاقة التقليدية، كان أكبر عنصر متقلب في حسابات الجدوى هو سعر خام برنت أو الغاز الطبيعي. إذا ارتفع سعر البرميل، ارتفعت تكلفة الكيلوواط/ساعة من محطة الغاز أو الديزل. أما في مشروعات الطاقة المتجددة، فالكلفة التشغيلية منخفضة للغاية، والعنصر الحاسم هو الإنفاق الرأسمالي على المعدات والإنشاءات.

هذا لا يعني أن مشروعات الشمس والرياح أصبحت أقل جدوى، فأرقام الوكالة الدولية للطاقة المتجددة IRENA تؤكد أن كلفة الكهرباء المنتجة منها لا تزال في المتوسط أقل من كثير من بدائل الوقود الأحفوري حتى بعد موجة التضخم الأخيرة. لكنه يعني أن المستثمر لم يعد في مأمن، فبدل أن يخشى ارتفاع أسعار الوقود خلال عمر المحطة، أصبح يخشى ارتفاع أسعار المواد الداخلة في تصنيعها قبل بدء التشغيل. وإذا كان سعر مركبات البلاستيك الصناعية والمواد اللاصقة الصناعية والصلب والنحاس مرتبطا ببنية سوقية تتأثر بالنفط والغاز (من حيث كلفة الإنتاج والنقل والطاقة)، فإن جزءا من رخص الطاقة المتجددة كان، عمليا، مشروطا بنفط وغاز رخيصين.

تقرير: "أمن تحولات الطاقة النظيفة" الصادر عن وكالة الطاقة الدولية، يشير إلى أن الضغوط على سلاسل الإمداد بدءا من المعادن الحرجة وصولا إلى المواد الكيميائية، يمكن أن تؤدي إلى "تضخم أخضر" يرفع تكلفة تحقيق الأهداف المناخية، إذا لم يتم وضع استراتيجيات واضحة لإدارة مخاطر المواد. هذا التضخم لا يقاس فقط في أسعار الكهرباء النهائية، بل أيضا في تكلفة رأس المال، فالمشروعات التي تواجه تقلبا كبيرا في أسعار مدخلاتها تصبح أكثر مخاطرة في نظر الممولين، ما يرفع هوامش الربح المطلوبة وأسعار الفائدة على التمويل، وبالتالي يرفع الكلفة الإجمالية للتحويل.

إعادة تسعير المخاطر

بالنسبة للمستثمرين وصناع القرار، معضلة التكلفة الخفية تعني أن تقييم مشروعات الطاقة النظيفة لا يمكن أن يستند فقط إلى منحنيات التعلم التقنية (Learning Curves) التي تقترض تلقائيا انخفاض التكلفة مع مرور الوقت وزيادة الأحجام. فهذه المنحنيات لا تكون صالحة إلا حين تكون بيئة المواد مستقرة أو تتجه لانخفاض الأسعار بفعل وفورات الحجم، لكنها تصبح أقل دقة في عالم تتعرض فيه سلاسل الإمداد لصدمات متكررة، ويتحول فيه النفط والغاز من وقود إلى مورد استراتيجي لصناعة المواد التي تدخل في مختلف مكونات البنية التحتية للطاقة النظيفة.

مشروع "نيوم"

وتضخم التكلفة

المشروعات العملاقة في مجال الطاقة النظيفة والهيدروجين الأخضر تقدم مثالا ملموسا على هذه الديناميكيات. مشروع الهيدروجين الأخضر في مدينة "نيوم" بالسعودية، الذي يعد من أكبر المشروعات من نوعه، شهد زيادة ملحوظة في التقديرات الاستثمارية. فقد أشارت تقارير متخصصة إلى أن كلفته ارتفعت من نحو 5 مليارات دولار إلى قرابة 8.5 مليارات دولار، أي زيادة تقارب 70% على التقديرات الأولى، مع إرجاع أسباب الزيادة جزئيا إلى ارتفاع تكلفة التمويل وجزء آخر إلى تكاليف المعدات والمواد وسلاسل الإمداد. هذه القفزة لا تعكس فشلا في المشروع بقدر ما تعكس بيئة عالمية جديدة تتمثل في أسعار مواد أعلى، تكاليف شحن أعلى، ومخاطر جيوسياسية تضيف تكلفة إضافية على رأس المال. في الوقت نفسه، تتوقع تحليلات "إس أند بي جلوبال" أن تتجاوز الاستثمارات الرأسمالية لشركات المرافق في قطاع الطاقة عالميا تريليون دولار خلال الفترة من العام 2025 حتى عام 2029، مع تخصيص أكثر من 25 إلى 30 مليار دولار سنويا في الولايات المتحدة وحدها لمشروعات الطاقة المتجددة. في بيئة بهذا الحجم من الإنفاق، فإن أي زيادة نسبية صغيرة في أسعار المواد يمكن أن تترجم إلى عشرات المليارات من الدولارات من التكاليف الإضافية على مستوى النظام ككل.



جزءا من «اقتصاد النفط والغاز والمشتقات الكيميائية، وليس بديلا منفصلا عنه. فالتوربين أو اللوح الذي يولد كهرباء خالية من الانبعاثات الكربونية لربع قرن، يحمل في بنيتها كمية غير قليلة من الكربون، وفي التكاليف والمخاطر المرتبطة بإنتاج هذه المواد ونقلها.

هذه ليست دعوة للتخلي عن التحول الأخضر، بل دعوة لتصحيحه. فإذا كان الهدف هو نظام طاقة مستدام، فلا يكفي أن تكون الإلكترونيات نظيفة، بل ينبغي أيضا أن تكون الجزيئات التي بنيت بها هذا النظام محسوبة التكلفة والمخاطر.

النتيجة العملية أن نماذج التحليل المالي يجب أن تدمج الآن متغيرات جديدة تتمثل في:

1. حساسية المشروع لتقلبات أسعار المواد البتروكيمياوية والمواد اللاصقة الصناعية والمعادن، لا الوقود فقط.
2. مخاطر تعطل سلاسل الإمداد بسبب إغلاق ممر بحري، أو عقوبات على مورد رئيسي، أو اضطرابات مناخية تضرب مراكز الصناعات الكيميائية.
3. تأثير هذه المخاطر على تكلفة التمويل وهوامش الأمان المطلوبة في العقود طويلة الأجل.

بهذا المعنى، تصبح الطاقة المتجددة

دور النفط في اقتصاد ما بعد الانبعاثات الكربونية

فيها، مثل توليد الكهرباء، والنقل البري الخفيف، والتدفئة، مع توجيه ما يتبقى من الإنتاج نحو استخدامات صناعية لا تزال تفتقر إلى بدائل عملية واسعة النطاق، مثل البتروكيماويات وبعض أنواع المواد الصناعية المتقدمة. ويتطلب ذلك تشديد معايير التصميم، وإدماج إعادة التدوير وتحليل دورة الحياة في قلب الصناعة لتقليل الانبعاثات والنفايات على مدار عمر المنتج. بهذا المنطق، تتحول كهربة الاقتصاد من مجرد أداة لخفض الانبعاثات إلى أداة لإعادة توزيع أفضل لاستخدامات البرميل نفسه.

سباق التحويل إلى الكيماويات

الدول المنتجة للنفط والغاز المسال، ولا سيما في الخليج، التقطت مبكراً إشارات هذا التحويل وبدأت إعادة تشكيل نماذج أعمال شركاتها الوطنية حول محور المواد، لا الوقود فقط. يؤكد تقرير: "مستقبل البتروكيماويات" الصادر عن وكالة الطاقة الدولية، أن هذا القطاع مرشح لأن يصبح المستهلك الرئيس للخام بحلول منتصف القرن، إذ من المتوقع أن يضيف نحو 7 ملايين برميل يومياً من الطلب على النفط ونحو 56 مليار متر مكعب من الغاز لصالح صناعة البتروكيماويات وحدها بحلول 2030، في الإقليم الذي يملك أكبر احتياطيات نفطية في العالم. هذا يعني أن البقاء في قمة الهرم النفطي يتطلب انتقالاً تدريجياً من بيع الوقود إلى بيع المادة، ومن تصدير الطاقة الحرارية إلى تصدير سلاسل من الجزيئات ذات الاستخدامات الصناعية المتعددة.

في السعودية، تقود أرامكو هذا التحويل عبر استراتيجية: "تحويل السوائل إلى كيماويات" (Liquids-to-Chemicals). تشير تقارير الشركة وتصريحات مسؤوليها إلى أن الهدف هو زيادة القدرة على إدخال النفط الخام وسوائل الغاز في مجمعات متكاملة للتكرير والبتروكيماويات إلى نحو 4 ملايين برميل يومياً، ارتفاعاً من نحو 2 مليون برميل يومياً حالياً، كهدف طويل الأجل يرتبط بأفق: "رؤية 2030"، وإن كانت الشركة قد أعادت توصيفه مؤخراً كهدف ممتد زمنياً في تقاريرها السنوية مع تقدم التنفيذ وتأجيل بعض المشروعات. وتوضح صفحة: Crude oil to chemicals على موقع "أرامكو" أن جوهر هذه الاستراتيجية هو رفع حصة الكيماويات من كل برميل من مستوى تقليدي في المصافي القديمة يتراوح ما بين 8 و12% إلى نحو 50% عبر مجمعات مدمجة تجمع بين التكرير والبتروكيماويات في تصميم واحد.

مع تراكم سياسات المناخ وتسارع الكهرباء، يتراجع تدريجياً دور النفط كوقود مباشر، لكن هذا لا يعني اختفاءه من المشهد بقدر ما يعني تغير موقعه داخل الاقتصاد. تحليلات وكالة الطاقة الدولية حول مستقبل البتروكيماويات تشير إلى أن هذا القطاع وحده مرشح لأن يستحوذ على أكثر من ثلث نمو الطلب العالمي على النفط حتى عام 2030، وما يقارب نصف نمو الطلب حتى 2050، متقدماً على الشاحنات والطيران والشحن البحري بوصفه المحرك الأكبر لاستهلاك الخام. وفي بعض سيناريوهات الحياد الكربوني لدى الوكالة، يمكن أن تصل حصة البتروكيماويات إلى نحو 55% من إجمالي استهلاك النفط بحلول 2050، في عالم تتم فيه كهربة أغلب أنشطة النقل ويتراجع فيه الحرق المباشر للوقود، بينما يظل استخدام النفط كمادة أقل قابلية للإزاحة.

هذه الأرقام تفرض إعادة تعريف للبرميل نفسه: من "وحدة طاقة" يتم حرقها في المحركات والتوربينات، إلى "وحدة جزيئات" يتم تفكيكها وإعادة تركيبها في آلاف المواد والمنتجات، من البلاستيك المتقدم إلى الألياف الكربونية والأدوية والمواد المركبة في البنية التحتية للطاقة النظيفة. وتوضح تقارير الوكالة ومراكز الأبحاث المتخصصة، أن القيمة الاقتصادية المضافة من تحويل برميل النفط إلى مواد كيميائية ومنتجات نهائية يمكن أن تبلغ عدة أضعاف عائد بيعه كوقود، إذ ترتفع العائدات من عشرات الدولارات للبرميل إلى مئات الدولارات عندما يتم استغلاله في سلاسل قيمة عالية التعقيد.

من هذا المنظور، يصبح التعامل الجديد الممكن مع النفط والغاز المسال قائماً على مبدأ بسيط: تقليل الحرق وتعظيم الاستخدام المادي. أي إعطاء الأولوية لاستبدالهما في التطبيقات التي يمكن كهربتها أو الاستغناء عنهما.





سيناريوهات 2030 - 2050

عقد اجتماعي جديد مع النفط والغاز المسال

عند النظر إلى ربع القرن المقبل، ترسم تقارير الانتقال الطاقوي 3 مسارات عامة ممكنة:

مسار السياسات الحالية

تستحوذ على نحو 55% من إجمالي استهلاك النفط في بعض سيناريوهات الوكالة، نتيجة كهربة النقل وتراجع استخدام النفط في توليد الكهرباء. هذا السيناريو يزيد مخاطر تغير المناخ، حتى لو أعاد توزيع استخدامات النفط بين الوقود والمادة.

مليون برميل يوميا في منتصف القرن، مع بقاء الوقود الأحفوري مهيمنًا على نحو 80% من الطلب على الطاقة في غياب سياسات أكثر صرامة. في هذا السياق، تصبح البتروكيماويات المستهلك الأكبر للخام بحلول 2050، حيث

في هذا المسار، تستمر الدول في سياساتها المعلنة دون قفزات كبيرة في الطموح المناخي. تشير تقديرات أحدث تقارير وكالة الطاقة الدولية إلى أن الطلب العالمي على النفط قد يواصل النمو حتى 2040 وما بعدها، ليصل إلى مستويات تتجاوز 100

مسار التحول المتعثر أو المتقطع

هذا المسار يعكس عالماً تتسع فيه الفجوة بين الخطاب والسياسة، حيث تتبنى بعض الدول أهدافاً طموحة لكنها لا توفر استثمارات أو أطراً تنظيمية كافية، فيما تتباطأ أو تتراجع دول أخرى. في هذه الحالة، يمكن أن يحدث ما يشبه الركود في التحول الطاقوي، إذ لا ينخفض الطلب على النفط بالسرعة المطلوبة، ولا تصل الاستثمارات في البدائل إلى المستوى الكافي، بينما تتعرض سلاسل إمداد المواد الخام لصدمات متكررة.

في مثل هذا السيناريو، يمكن أن نشهد فترات من نقص في الإمدادات وارتفاع في الأسعار، ليس فقط للوقود بل للمواد أيضاً، بما يرفع كلفة التقنيات الخضراء ويغذي التوجهات السياسية والاجتماعية المعارضة لسياسات المناخ، بحجة أنها تضيف أعباء على المستهلكين والصناعات. النفط هنا لا يكون مجرد مادة نادرة، بل مصدر توتر دائم حول من يدفع التكلفة، ومن الذي يستفيد من القيمة المضافة، وكيف يعاد توزيع عوائد البرميل بين الدولة والشركات والمجتمع.

مسار التحول المنضبط

في هذا المسار، يتم تنفيذ تعهدات الحياد الكربوني المعلنة (Net Zero) بصورة أكثر جدية في الاقتصادات الكبرى، دون الوصول إلى حظر كامل للاستثمارات الجديدة في النفط والغاز. وتتم عمليات كهربة واسعة للنقل البري ولجزء من الصناعة، وتنخفض حصة النفط في توليد الكهرباء والنقل بشكل حاد، بينما يعاد توجيه جزء من إنتاجه نحو الاستخدامات غير الطاقوية ذات القيمة العالية. ويشير تحليل للسيناريوهات التي تستهدف الحياد الكربوني بحلول 2050 إلى ضرورة خفض الطلب على النفط بنحو 70% مقارنة بمستويات 2020، ليهبط الاستهلاك إلى نحو 20 إلى 25 مليون برميل يومياً بحلول منتصف القرن. ومع ذلك، في هذه المسارات، يظل استخدام النفط كمادة أولية للبتر وكيميائيات ضمن مجالات الطلب القليلة التي يمكن أن تستقر أو حتى ترتفع عن مستويات اليوم، رغم تراجع الاستخدامات الأخرى. في هذا السيناريو، سيكون التعامل مع النفط والغاز المسال قائماً على مبدأ واضح: استخدام قدر أقل بكثير من النفط، ولكن بشكل انتقائي وفعال، مع تشديد الرقابة على دورة حياة المنتجات النفطية من التصميم إلى التخلص. نجاح هذا المسار يتوقف على أمرين: قدرة التكنولوجيا والسياسات على إزاحة النفط عن معظم الأغراض الطاقوية، وقدرة الصناعة على تقليل البصمة الكربونية والنفايات المرتبطة باستخدامه كمادة.



نحو عقد واقعي جديد مع النفط والغاز المسال

عبر سلاسل القيمة لمركبات البلاستيك الصناعية والمواد المتقدمة التي ستبنى البنية التحتية لاقتصاد الغد. في هذا الإطار، يصبح السؤال الحقيقي في 2030 - 2050 ليس: "متى نصل إلى اليوم الأخير للنفط؟" بل: "كيف نستخدم ما تبقى منه على نحو يوازن بين حاجات الاقتصاد وقدرة الكوكب على التحمل، ومن يملك مفاتيح هذا التوازن؟".

يكون عقد قطيعة، بل عقد إعادة تعريف يقاس فيه النجاح المناخى بمدى خفض الحرق، لا بمدى إنكار الحاجة إلى النفط كمادة. وتقاس فيه كفاءة الدول والشركات بقدرتها على تحويل كل برميل إلى أكبر قدر ممكن من القيمة المادية الطويلة الأجل مع أقل قدر ممكن من الانبعاثات والنفايات. وتتم فيه الإدارة الجيوسياسية للنفط ليس فقط عبر براميل الوقود، بل

أيما كان المسار الذي سيغلب، يتضح من تحليلات وكالة الطاقة الدولية ومنحنيات الطلب أن زمن النفط لن ينتهي ببساطة عندما تتوقف محطات الكهرباء عن حرقه، أو عندما تخفى سيارات البنزين من الشوارع. فالمواد المركبة المشتقة من النفط والغاز ستظل حاضرة في الاقتصاد، لكن في أدوار مختلفة. العقد الواقعي في عصر ما بعد الكربون لن